

Penekanan Klorosis dengan *Pseudomonas fluorescens* dan Belerang untuk Peningkatan Hasil Kacang Tanah di Tanah Alkalin

Chlorosis Suppression through Pseudomonas fluorescens and Sulphur to Increase Groundnut Yield in Alkaline Soils

Herdina Pratiwi^{1*}, Nurul Aini², dan Roedy Soelistyono²

*Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Jl. Raya Kendalpayak km 8 PO BOX 66, Malang 65101; *email: herdina_p@mail.com

²Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

NASKAH DITERIMA 2 MARET 2016; DISETUJUI UNTUK DITERBITKAN 7 APRIL 2016

ABSTRAK

Klorosis pada tanaman kacang tanah di tanah alkalin dapat menurunkan hasil hingga 60%, karena tanaman mengalami kahat Fe dan S. Penekanan klorosis tersebut di antaranya dapat dilakukan dengan aplikasi belerang dan pupuk hayati berbahan baku *Pseudomonas fluorescens*. Penelitian bertujuan untuk menentukan keefektifan belerang dan *P. fluorescens* dalam menekan klorosis dan meningkatkan hasil kacang tanah di tanah alkalin. Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Malang pada bulan Januari–Mei 2015, menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor perlakuan, tiga ulangan. Faktor pertama adalah 3 konsentrasi *P. fluorescens* (cfu/mL), terdiri dari: 1) P0=0, 2) P1=107, 3) P2=109 cfu/mL. Faktor kedua adalah 4 dosis pemberian serbuk belerang (g/kg tanah) terdiri dari: 1) S0=0, 2) S1=1, 3) S2=2, 4) S3=3. Penelitian menggunakan tanah Alfisol dari Lamongan Jawa Timur dengan pH 9,5. Hasil penelitian menunjukkan tidak terdapat interaksi nyata antara pengaruh penggunaan *P. fluorescens* dengan belerang terhadap penekanan klorosis dan peningkatan hasil kacang tanah. *P. fluorescens* mampu meningkatkan kadar Fe tersedia dalam tanah hingga 35% tetapi tidak mampu menekan klorosis dan meningkatkan hasil kacang tanah. Pemberian belerang dapat meningkatkan kadar SO_4^{2-} di tanah, menurunkan pH tanah, menekan klorosis dan meningkatkan hasil 81% pada dosis 3 g/kg tanah di tanah alkalin ber-pH 9,5. Penekanan klorosis, peningkatan hasil polong dan indeks panen kacang tanah berkorelasi positif dengan peningkatan kadar SO_4^{2-} di tanah dan penurunan pH tanah.

Kata kunci: *Arachis hypogaea*, belerang, *Pseudomonas fluorescens*, tanah alkalin

ABSTRACT

The suppression of chlorosis symptom using *Pseudomonas fluorescens* and sulphur to increase groundnut production grown in alkaline soils. The chlorosis symptom on groundnut grown in alkaline soil is a result of iron (Fe) and sulphur (S) deficiencies in the soil. This symptom can reduce pod yield up to 65%. A treatment to suppress the chlorosis symptom is by appli-

cation of sulphur and biological fertilizer containing *P. fluorescens*. The research was therefore conducted to determine the effectiveness of sulphur and *P. fluorescens* in suppressing chlorosis and increasing pod yield. The experiment was conducted in a green house of Indonesian Legumes and Tuber Crops Research Institute (Iletri) in Malang, East Java from January–May 2015. A randomized completely block design with two factors and three replicates was applied. The first factor was three concentrations of *P. fluorescens* i.e. 0, 107, 109 cfu/mL. The second factor was four levels of sulphur dose i.e. 0, 1, 2, 3 g/kg of soil. Groundnuts were grown in alkaline Alfisols with 9.5 of pH obtained from Lamongan District, East Java. The results showed that there was no significant interactive effect of *P. fluorescens* and sulphur on chlorosis suppression and pod yield increase. *P. fluorescens* significantly increased available Fe in soil by 35%, however it was unable to suppress chlorosis and increase pod yield. Sulphur at the dose of 3 g/kg soil significantly increased soil- SO_4^{2-} content, lowered soil pH, suppressed chlorosis and increased pod yield by 81%. The reduction in chlorosis symptom and the increase of pod yield and harvest index were correlated to the increase of SO_4^{2-} in soil and the decrease of soil pH.

Keywords: alkaline soil, *Arachis hypogaea*, *Pseudomonas fluorescens*, sulphur

PENDAHULUAN

Kacang tanah merupakan salah satu tanaman pangan penting sebagai sumber protein. Produksi nasional sebagian besar dipasok oleh Provinsi Jawa Timur, diikuti oleh Jawa Tengah dan Jawa Barat dengan produktivitas sekitar 1,2 t/ha, dan luas panen yang terus mengalami penurunan dari tahun ke tahun (BPS 2014). Untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, Indonesia mengimpor kacang tanah sebanyak rata-rata 163.745 ton per tahun. Peningkatan produktivitas nasional masih dapat dilakukan karena di tingkat penelitian kacang tanah mampu memberikan hasil di atas 2 t/ha (Balitkabi 2012). Semakin berkurangnya lahan subur dan meningkatnya alih fungsi lahan memungkinkan budidaya kacang tanah bergeser

ke arah lahan marginal, salah satunya adalah tanah alkalin.

Tanah alkalin dengan pH > 7 dijumpai pada tanah-tanah berkapur yaitu tanah yang bahan induknya berasal dari material kalsium karbonat (CaCO_3). Sampai saat ini belum terdapat pemetaan khusus tanah kapur di Indonesia, namun penyebaran tanah kapur cukup luas di Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Sumatera. Tanah kapur di Jawa menyebar di sepanjang pantai utara meliputi wilayah Gresik, Lamongan, Tuban, dan Pati yang merupakan rangkaian pegunungan kapur utara. Tanah kapur juga didapati di pegunungan kapur selatan dan Pulau Madura.

Kendala utama budidaya tanaman kacang tanah di tanah alkalin adalah rendahnya kandungan bahan organik dan hara esensial seperti N, S, P, dan Fe. Gejala kekahatan unsur pada tanaman kacang tanah di tanah tersebut adalah klorosis mulai dari daun termuda hingga keseluruhan daun yang dapat menyebabkan penurunan hasil polong sebesar 40–60% (Harsono *et al.* 1998). Menurut Mengel dan Geurtzen (1986), klorosis yang terjadi pada tanaman di tanah alkalin disebabkan oleh gangguan fisiologi yang mempengaruhi mobilisasi Fe pada keseluruhan tanaman sedangkan menurut Taufiq dan Sudaryono (1998) serta Taufiq (2001) klorosis diduga karena pH tinggi dan defisiensi hara Fe dan atau hara S. Unsur Fe berperan penting dalam sintesis klorofil dan aktivitas fotosintesis tanaman (Briat *et al.* 2014) sedangkan S merupakan komponen utama asam amino sistein dan metionin yang turut berperan dalam proses fotosintesis (Brady 1984). Unsur Fe dan S adalah penyusun enzim penting yang terlibat dalam metabolisme tanaman. Klorosis berkorelasi dengan penurunan hasil, dengan semakin tingginya kejadian klorosis maka semakin menurunnya jumlah polong isi sehingga berakibat pada rendahnya hasil polong dan biji kering kacang tanah (Purnomo *et al.* 2000). Lebih lanjut dikatakan bahwa stadia kritis tanaman kacang tanah terhadap klorosis yaitu pada umur 30–60 HST (hari setelah tanam).

Upaya penekanan klorosis dan peningkatan hasil tanaman kacang tanah di tanah alkalin umumnya dilakukan dengan pemberian belerang murni untuk menurunkan pH tanah dan meningkatkan ketersediaan hara tanah termasuk Fe. Di sisi lain, aplikasi belerang dengan dosis berlebihan dapat menurunkan biomas mikroba dan aktivitas biologi di tanah (Gupta *et al.* 1988; Rezaei *et al.* 2015). Aplikasi berlebihan belerang juga dapat meningkatkan konsentrasi garam sulfat di tanah seperti Na_2SO_4 sehingga dapat meningkatkan salinitas tanah (Orman dan Kaplan 2011; Reich *et al.* 2015). Perhatian pada pertanian yang berkelanjutan semakin meningkat pada saat ini yang salah satunya dicapai dengan cara meminimalkan penggunaan bahan

kimia sebagai input dalam usaha tani dan beralih ke pupuk hayati, salah satunya adalah dengan penggunaan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dari spesies *Pseudomonas fluorescens*.

P. fluorescens adalah bakteri gram negatif berbentuk batang, merupakan bakteri obligat aerob dan dapat tinggal di berbagai lingkungan termasuk tanaman, tanah, dan permukaan air. Penamaan *fluorescens* diperoleh karena kemampuannya dalam memproduksi pigmen yang berpendar yang disebut pyoverdine. Keberadaan *P. fluorescens* melimpah pada daerah humid yang mendapatkan input nutrisi dan berkembang lebih baik pada pH tanah tinggi (Meliani *et al.* 2011). *P. fluorescens* diketahui memiliki pengaruh menguntungkan untuk pertumbuhan tanaman. *P. fluorescens* sering digunakan sebagai biofertilizer dan agen hayati pengendali penyakit. Mekanisme *P. fluorescens* sebagai PGPR adalah dengan mensekresi senyawa organik yang berfungsi melarutkan hara bagi tanaman serta mensekresi antibiotik dan hidrogen sianida yang dapat menekan penyakit di daerah perakaran. Senyawa yang diproduksi bakteri golongan *Pseudomonas* pada keadaan aerob adalah siderophore yang berperan sebagai khelator besi. Siderophore merupakan senyawa ekstraseluler dengan berat molekul rendah (500–1000 dalton) yang dapat mentransportasikan Fe, disintesis pada kondisi Fe rendah (Tate 2000). Selain itu *P. fluorescens* juga menghasilkan hormon pertumbuhan termasuk senyawa sitrat yang dapat menurunkan pH lingkungan tumbuhnya (Hoberg *et al.* 2005).

Salah satu kelebihan yang dimiliki oleh *P. fluorescens* adalah keberadaannya di daerah rhizosfer dan tidak menginfeksi tanaman sehingga aplikasinya tidak tergantung jenis inang. Bakteri tersebut membantu pertumbuhan tanaman dengan cara mengeluarkan senyawa siderophore yang dapat melarutkan P (Rodriguez dan Fraga 1999) dan mengkelat Fe (Sharma dan Johri 2003) menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Telah banyak penelitian yang menunjukkan peranan *P. fluorescens* dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil berbagai tanaman. *P. fluorescens* meningkatkan ketersediaan N dan P di tanah sehingga meningkatkan hasil polong dan brangkas kacang tanah (Dey *et al.* 2004). Melalui hormon pertumbuhan IAA (auksin) yang diproduksi, *P. fluorescens* dapat meningkatkan pertumbuhan akar dan trubus tanaman gandum (Egamberdieva 2010) dan padi (Meera dan Balabaskar 2012).

Penelitian yang mengkaji kombinasi antara belerang dan *P. fluorescens* telah dilakukan dan memberikan pengaruh yang positif pada tanaman jagung (Alipour *et al.* 2012) dan kanola (Eslamyan *et al.* 2013) di tanah alkalin, namun belum diketahui pengaruhnya di tanaman kacang tanah. Penelitian ini bertujuan

untuk menentukan keefektifan penggunaan belerang dan *P. fluorescens* dalam menekan klorosis dan peningkatan hasil kacang tanah di tanah alkalin.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Malang pada bulan Januari–Mei 2015, menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor perlakuan, tiga ulangan. Faktor pertama adalah 3 konsentrasi *P. fluorescens* (cfu/mL) terdiri dari: 1) P0=0, 2) P1=107, 3) P2=109. Faktor kedua adalah 4 dosis belerang (g/kg tanah) terdiri dari: 1) S0=0, 2) S1=1, 3) S2=2, 4) S3=3 sehingga terdapat 12 kombinasi perlakuan.

Penelitian menggunakan tanah Alfisol yang diambil dari daerah Brondong, Lamongan, Jawa Timur. Untuk mendapatkan tanah dengan pH tinggi ($>7,5$) sebelum perlakuan tanah diberi tambahan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sampai didapatkan pH akhir sebesar 9,5. Tanah dimasukkan dalam wadah pot plastik berukuran diameter atas 28 cm, diameter bawah 19 cm, dan tinggi 21 cm sebanyak 7,5 kg/pot. Benih kacang tanah yang digunakan adalah tipe Spanish yaitu varietas Lokal Tuban. *P. fluorescens* didapatkan dari koleksi jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Universitas Brawijaya berupa formulasi PGPR dengan konsentrasi 107 dan 109 cfu/mL. Belerang yang digunakan adalah serbuk belerang (S elemental) dengan kadar S sebesar 99%.

Serbuk belerang dicampurkan ke tanah pada masing-masing pot dengan dosis sesuai dengan perlakuan masing-masing kemudian diinkubasi selama 30 hari sebelum tanam. Selama inkubasi, tanah dipertahankan pada kondisi 100% kapasitas lapangan. Penyiraman menggunakan air aquades (pH=6, DHL=0 dS/m).

Benih ditanam ke dalam lubang dengan kedalaman 2 cm dengan jumlah empat biji per lubang tanam kemudian lubang ditutup dengan tanah. Tanaman yang tumbuh djarangkan pada umur 7 HST (hari setelah tanam) menjadi dua tanaman per pot. Pupuk dasar Urea dengan dosis 100 kg/ha, SP36 dengan dosis 100 kg/ha dan KCl dengan dosis 75 kg/ha diberikan pada saat tanam. Aplikasi *P. fluorescens* dilakukan sebanyak dua kali yaitu setelah penanaman benih kacang tanah dan pada umur 15 HST. Volume aplikasi pertama untuk masing-masing perlakuan adalah 100 mL per pot sedangkan aplikasi kedua sebanyak 50 mL per pot. Aplikasi dilakukan pada sore hari dengan cara menyiramkan larutan formulasi *P. fluorescens* pada permukaan tanah di sekeliling lubang benih atau daerah perakaran tanaman secara merata.

Penyiraman menggunakan air aquades (pH=6, DHL=0 dS/m) hingga kondisi kapasitas lapang dilakukan 2–3 hari sekali tergantung kondisi tanah sampai panen. Pemeliharaan tanaman meliputi pengendalian gulma dan hama penyakit. Pengendalian gulma dilakukan sebanyak dua kali secara manual dengan mencabut gulma yaitu saat tanaman belum berbunga (21 HST) dan setelah ginofor masuk tanah (45 HST). Pengendalian hama dan penyakit dilakukan dengan melihat gejala serangan pada tanaman.

Pengamatan dilakukan terhadap skor klorosis daun, indeks klorofil daun, kadar klorofil daun, pH tanah, kadar SO_4^{2-} dan Fe di tanah. Pengamatan indeks klorofil dilaksanakan pada umur 15, 30, 45, 60, 75, dan umur panen (97 HST). Pengamatan kadar klorofil daun, pH tanah, kadar SO_4^{2-} , dan Fe di tanah dilaksanakan pada umur 60 HST. Pengamatan skor klorosis dilakukan dengan mengamati tingkat terjadinya klorosis pada daun muda yang terbuka sempurna (daun ke-1 sampai dengan ke-3 dari atas) pada batang utama maupun cabang. Skor menggunakan skor 1 (normal) hingga 5 (sangat tinggi) berdasarkan kriteria Taufiq *et al.* (2004) dengan skor sebagai berikut: 1=tidak ada klorosis, 2=rendah (daun berwarna hijau agak kekuningan, tulang daun hijau), 3=sedang (daun berwarna kekuningan, tulang daun hijau), 4=tinggi (daun berwarna kuning keputihan, tulang daun hijau), 5=sangat tinggi (daun berwarna kuning keputihan, tulang daun kuning). Indeks klorofil daun diamati dengan menggunakan alat Chlorophyllmeter SPAD Minolta 502 pada daun muda yang terbuka sempurna (daun ke-3 dari atas) sedangkan pengukuran kadar klorofil dilakukan dengan mengambil daun muda yang terbuka sempurna (daun ke-3 dari atas) pada sampel destruktif sebanyak 2 g pada masing-masing perlakuan. Pengukuran kadar klorofil dilakukan di Lab Fisiologi Tumbuhan Jurusan Budidaya Pertanian Fak. Pertanian Univ. Brawijaya menggunakan spektrofotometer. Analisis pH tanah, kadar SO_4^{2-} (ekstraksi dengan aquades, metode Turbidimetri), Fe total, Fe tersedia (ekstraksi dengan DTPA) dilakukan di Lab. Kimia Tanah Balitkabi.

Panen dilakukan pada umur 97 HST ketika polong telah menunjukkan masak panen dengan kriteria pemasakan sesuai deskripsi Boote (1982). Pengamatan hasil panen meliputi bobot kering polong bernas dan indeks panen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Hara dan pH Tanah

Aplikasi *P. fluorescens* dapat meningkatkan Fe tersedia dan Fe total dalam tanah, tetapi tidak berpengaruh terhadap pH tanah dan kadar SO_4^{2-}

tanah. Aplikasi belerang hingga 3 g/kg tanah juga belum dapat meningkatkan Fe tersedia dan Fe total tanah, tetapi dapat meningkatkan kadar SO_4^{2-} dan menurunkan pH tanah (Tabel 1). Aplikasi *P. fluorescens* 109 cfu/mL menghasilkan kadar Fe tersedia tertinggi yaitu 7,60 ppm atau meningkatkan Fe tersedia di tanah sebesar 34,75% dibanding kontrol. *P. fluorescens* menghasilkan senyawa siderophore yang dapat mengkelat Fe dari bentuk tidak tersedia (terjerap mineral tanah biasanya dalam bentuk Fe^{3+}) menjadi bentuk tersedia yaitu Fe^{2+} . Semakin tinggi konsentrasi *P. fluorescens* semakin tinggi produksi siderophore dan semakin banyak Fe yang direduksi (Mullen 1998; Tate 2000).

Pemberian belerang dengan dosis 1, 2, dan 3 g/kg tanah meningkatkan kadar SO_4^{2-} di tanah berturut-turut sebesar 45 kali, 75 kali, dan 102 kali lipat dibanding kontrol. Di sisi lain, pemberian belerang 1, 2, dan 3 g/kg tanah mampu menurunkan pH tanah 3,6%, 5,8%, dan 8,5% dibanding kontrol (Tabel 1). Reaksi oksidasi belerang murni oleh bakteri *Thiobacillus thiooxidans* menghasilkan ion H^+ dan SO_4^{2-} . Satu mol S murni akan dioksidasi menjadi empat mol ion H^+ dan 2 mol ion SO_4^{2-} (Brady 1984). Semakin banyaknya belerang yang dioksidasi menyebabkan semakin banyak ion H^+ dan SO_4^{2-} yang dilepas ke tanah. Peningkatan konsentrasi H^+ menyebabkan pH tanah semakin rendah.

Penekanan Klorosis Daun Kacang Tanah

Rentang skor klorosis pada tanaman kacang tanah berkisar antara 1 sampai dengan 3 artinya tidak terjadi klorosis hingga terjadi klorosis dengan intensitas sedang. Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa baik

pada perlakuan *P. fluorescens* maupun belerang terdapat pola skor klorosis yang sama di mana skor klorosis tinggi pada tanaman ketika masih muda, yakni umur 15 HST kemudian berangsur pulih atau turun hingga umur 60 HST hampir tidak terjadi klorosis. Pada 75 HST, tanaman mulai menunjukkan peningkatan klorosis hingga puncaknya terjadi pada umur 97 HST. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Purnomo *et al.* (2000) bahwa klorosis parah terjadi pada awal pertumbuhan kacang tanah kemudian tanaman mengalami pemulihan hingga umur 60 HST dan lalu meningkat lagi setelah umur 60 HST hingga panen. Tanaman secara alami memiliki kemampuan untuk melawan klorosis melalui eksudat yang dihasilkan oleh akar (Romheld dan Marschner 1983; Sánchez-Rodríguez 2014). Oleh karena itu penurunan klorosis juga terjadi pada tanaman kontrol namun penurunan klorosis dipercepat dengan penambahan belerang ke tanah.

Pada perlakuan *P. fluorescens*, grafik menunjukkan garis yang berimpit antarperlakuan yang artinya bahwa ketiga konsentrasi *P. fluorescens* memiliki nilai klorosis yang sama pada semua umur tanaman. Pada perlakuan belerang, skor klorosis tertinggi terjadi pada dosis 0 g/kg tanah atau tanpa aplikasi belerang. Skor klorosis pada dosis belerang 0 g/kg tanah cenderung lebih tinggi dari pada dosis 1, 2, dan 3 g/kg tanah pada semua umur pengamatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi *P. fluorescens* belum dapat menekan klorosis sedangkan penambahan belerang sampai dosis 3 g/kg tanah dapat menekan klorosis daun kacang tanah.

Penekanan klorosis digambarkan juga dengan peningkatan hijaunya daun/indeks klorofil daun serta

Tabel 1. Rata-rata pH dan kadar hara tanah pada perlakuan *P. fluorescens* dan belerang. Rumah Kaca Balitkabi, 2015.

Perlakuan	pH Tanah	SO_4^{2-} (ppm)	Fe tersedia (ppm)	Fe total (%)
Konsentrasi <i>P. fluorescens</i>				
0 cfu/mL	7,95	389,88	5,64 c	5,81 b
107 cfu/mL	7,88	362,77	6,40 b	6,45 a
109 cfu/mL	7,81	347,72	7,60 a	6,34 a
BNT 5%	tn	tn	0,44	0,32
Dosis belerang				
0 g/kg tanah	8,25 a	6,60 d	6,38	6,07
1 g/kg tanah	7,95 b	294,67 c	6,34	6,24
2 g/kg tanah	7,77 c	491,78 b	6,74	6,06
3 g/kg tanah	7,55 d	674,11 a	6,73	6,42
BNT 5%	0,18	75,65	tn	tn
KK (%)	2,30	21,10	7,95	6,08

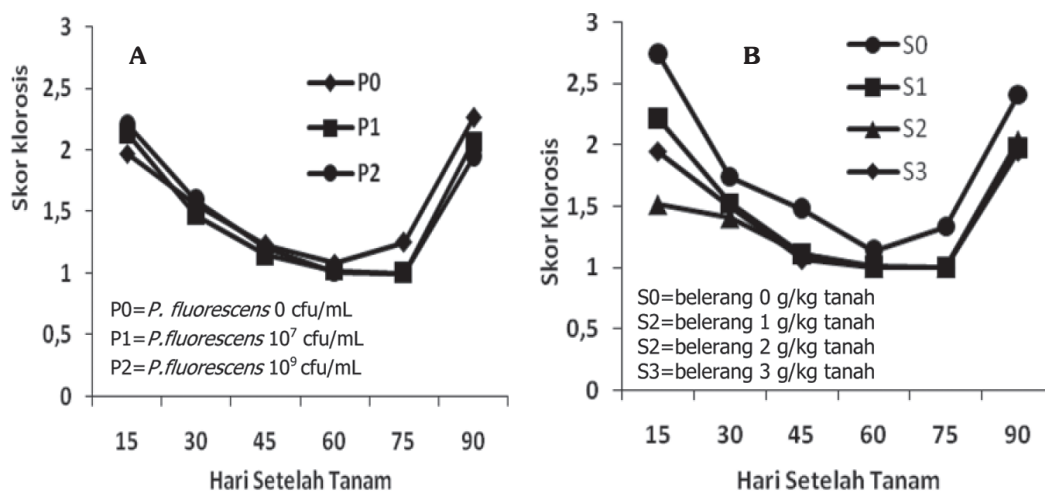
cfu=colony forming unit, BNT=Beda nyata terkecil, tn=tidak nyata, KK=koefisien keragaman. Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom dan perlakuan yang sama berbeda nyata pada uji BNT dengan batas peluang 5%.

kadar klorofil total dalam jaringan daun. Pengaruh pemberian belerang terhadap penekanan klorosis didukung oleh hasil pembacaan indeks klorofil menggunakan Chlorophyllmeter SPAD Minolta. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2 bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara dosis belerang pada indeks klorofil daun kacang tanah terutama pada umur 15, 45, 60, dan 75 HST sedangkan antara konsentrasi *P. fluorescens* tidak berbeda nyata.

Pemberian belerang dosis 1 hingga 3 g/kg tanah memberikan peningkatan indeks klorofil yang sama namun nyata lebih tinggi dibanding kontrol. Aplikasi belerang meningkatkan indeks klorofil daun dengan peningkatan berturut-turut sebesar 25,69% pada umur 15 HST; 16,88% pada umur 45 HST; 10,9% pada

umur 60 HST; dan 8,30% pada umur 75 HST dibanding kontrol (Tabel 2). Indeks klorofil daun semakin rendah pada umur 97 HST dan menunjukkan nilai yang tidak berbeda baik antarperlakuan *P. fluorescens* maupun perlakuan belerang. Hal tersebut kemungkinan karena tanaman telah memasuki umur panen dan daun mengalami penuaan.

Indeks klorofil daun berhubungan erat dengan kadar klorofil daun (Van den Berg dan Perkins 2004; Hawkins *et al.* 2009). Pada penelitian ini terjadi kecenderungan peningkatan kadar klorofil daun kacang tanah dengan peningkatan konsentrasi *P. fluorescens* maupun dosis takaran belerang (Gambar 2). Berbeda dengan hasil penelitian Eslamyan *et al.* (2013) bahwa kadar klorofil daun tanaman kanola (*Brassica napus*) di tanah alkalin

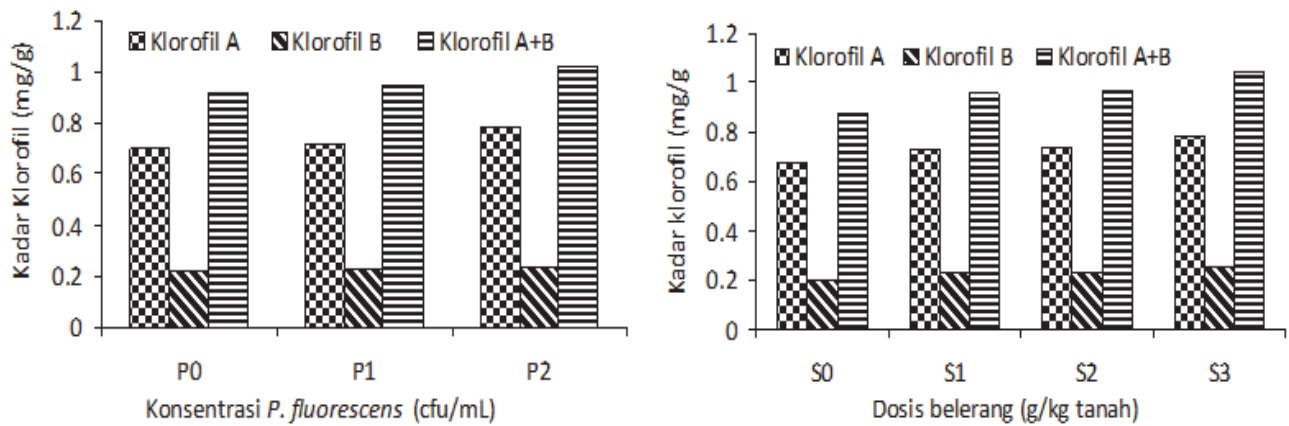


Gambar 1. Skor klorosis daun kacang tanah pada perlakuan konsentrasi *P. fluorescens* (A) dan dosis belerang (B).

Tabel 2. Rata-rata indeks klorofil daun kacang tanah pada perlakuan *P. fluorescens* dan belerang. Rumah kaca Balitkabi, 2015.

Perlakuan	Indeks klorofil					
	15 HST	30 HST	45 HST	60 HST	75 HST	97 HST
Konsentrasi <i>P. fluorescens</i>						
0 cfu/mL	31,74	33,47	35,88	40,70	34,82	27,62
107 cfu/mL	31,44	34,41	36,27	41,32	36,39	27,92
109 cfu/mL	30,83	34,15	35,77	41,01	36,26	29,76
BNT 5%	tn	tn	tn	tn	tn	tn
Dosis belerang						
0 g/kg tanah	26,31 c	32,16	31,93 c	37,90 b	33,73 b	27,74
1 g/kg tanah	29,92 b	34,07	35,85 b	41,83 a	35,62 ab	28,74
2 g/kg tanah	36,05 a	34,83	36,67 ab	42,30 a	37,08 a	29,87
3 g/kg tanah	33,07 ab	34,97	39,44 a	42,02 a	36,88 a	27,37
BNT 5%	3,28	tn	3,15	1,18	2,09	tn
KK (%)	10,70	12,13	8,96	2,95	5,97	8,29

cfu=colony forming unit, BNT=Beda Nyata Terkecil, tn tidak nyata, KK=koefisien keragaman. Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom dan perlakuan yang sama berbeda nyata pada uji BNT dengan batas peluang 5%.



Gambar 2. Kadar klorofil daun kacang tanah pada perlakuan konsentrasi *P. fluorescens* (kiri) dan dosis belerang (kanan).

dapat meningkat secara signifikan pada interaksi antara *P. fluorescens* dengan belerang 1000 kg/ha. Menurut Khalid *et al.* (2009) efektivitas bakteri pemacu tumbuh seperti *P. fluorescens* bervariasi pada tanaman dan lingkungan yang berbeda. Respons tanaman dipengaruhi oleh strain bakteri, genotipe tanaman, dan lingkungan tumbuh.

Hasil Polong dan Indeks Panen

Aplikasi *P. fluorescens* tidak meningkatkan hasil polong dan indeks panen kacang tanah (Tabel 3). Penambahan konsentrasi *P. fluorescens* ke tanah memberikan hasil polong dan indeks panen yang sama dengan kontrol. Hal ini berbeda dengan penelitian Dey *et al.* (2004) bahwa aplikasi *P. fluorescens* pada tanaman kacang tanah yang ditanam di tanah alkalin dengan pH 7,9 menghasilkan polong yang lebih baik dibanding tanpa aplikasi *P. fluorescens*. Cekaman pH tinggi 9,5 pada penelitian ini kemungkinan menyebabkan *P. fluorescens* tidak dapat bekerja secara optimal dalam memacu hasil polong kacang tanah. Menurut Fernández-Calviño *et al.* (2011), pH optimal untuk pertumbuhan *P. fluorescens* adalah mendekati basa atau 7–8.

Rata-rata hasil polong kering bernas per tanaman dan indeks panen berbeda nyata antardosis belerang (Tabel 3). Pemberian belerang dapat meningkatkan hasil polong kering bernas per tanaman dibanding tanpa pemberian belerang. Hasil polong kering bernas meningkat seiring dengan penambahan dosis belerang dengan peningkatan tertinggi dicapai pada perlakuan dosis belerang 3 g/kg tanah. Peningkatan hasil polong kering bernas dengan pemberian belerang 1, 2, 3 g/kg tanah berturut-turut adalah 41,88%, 47,40%, dan 80,74% dibanding tanpa pemberian belerang. Pemberian belerang juga nyata meningkatkan indeks panen dengan peningkatan terbesar dicapai oleh dosis 3 g/kg dengan peningkatan sebesar 34,09 % dibanding

kontrol. Hasil ini sejalan dengan penelitian Rao *et al.* (2013) bahwa aplikasi belerang murni nyata meningkatkan hasil polong dan jumlah polong isi kacang tanah dibanding tanpa aplikasi belerang. Pada tanah dengan kadar S rendah aplikasi S bermanfaat bagi tanaman terlebih bagi tanaman legum yang merupakan penghasil protein membutuhkan lebih banyak S (Brady 1984).

Korelasi antara Penekanan Klorosis dengan Hasil Kacang Tanah

Penekanan klorosis digambarkan dengan rendahnya skor klorosis dan adanya peningkatan indeks klorofil dan kadar klorofil daun. Tabel 4 menunjukkan korelasi antara penekanan klorosis dengan hasil polong kacang tanah. Penekanan klorosis pada penelitian ini lebih banyak dikaitkan dengan penurunan pH karena bertambahnya kadar SO_4^{2-} di tanah. Hal tersebut dilihat dari korelasi positif nyata antara kadar klorofil total daun kacang tanah dengan kadar SO_4^{2-} di tanah ($r=0,41$) dan korelasi negatif nyata dengan pH tanah ($r=0,33$). Penekanan klorosis nyata meningkatkan hasil polong dan indeks panen kacang tanah. Hal tersebut dapat dilihat dari korelasi negatif antara skor klorosis dengan hasil polong bernas ($r=0,59$) dan indeks panen ($r=0,86$) serta korelasi positif antara indeks klorofil daun dan kadar klorofil total daun dengan hasil polong dan indeks panen kacang tanah.

Meskipun *P. fluorescens* dapat meningkatkan ketersediaan Fe di tanah namun ketersediaan Fe tersebut tidak berperan dalam menekan klorosis dan meningkatkan hasil kacang tanah. Hal tersebut dapat dilihat dari (Tabel 4) bahwa ketersediaan Fe di tanah tidak berkorelasi dengan kadar klorofil total daun, hasil polong bernas dan indeks panen. Hal ini sejalan dengan penelitian Taufiq *et al.* (2001) bahwa intensitas klorosis tidak berkorelasi nyata dengan ketersediaan Fe di tanah. Menurut Nicolici dan Romheld (2003),

tidak berperannya Fe dalam penekanan klorosis dan peningkatan hasil kacang tanah dapat disebabkan oleh adanya inaktivasi Fe karena tingginya pH di daerah perakaran sehingga Fe tidak dapat terserap dan termobilisasi dalam jaringan tanaman. Selain itu Fe merupakan unsur mikro yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit oleh tanaman, berbeda dengan unsur

S yang merupakan unsur makro yang dibutuhkan dalam jumlah banyak (Salisbury dan Ross 1992).

KESIMPULAN

Tidak terdapat interaksi antara pengaruh penggunaan *P. fluorescens* dengan belerang terhadap penekanan klorosis dan peningkatan hasil kacang tanah di tanah alkalin dengan pH 9,5. Aplikasi *P. fluorescens* dapat meningkatkan kadar Fe tersedia dalam tanah hingga 34,75%, tetapi ketersediaan Fe dalam tanah tidak berkorelasi dengan penekanan klorosis dan hasil kacang tanah. Hara S merupakan pembatas utama produksi kacang tanah di tanah alkalin, aplikasi belerang dapat menekan klorosis dan meningkatkan hasil 80,74% pada dosis 3 g/kg tanah. Peningkatan kadar SO_4^{2-} dalam tanah dan penurunan pH tanah melalui penggunaan belerang, berkorelasi dengan penekanan klorosis, peningkatan hasil dan indeks panen kacang tanah di tanah alkalin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian yang telah mendanai penelitian. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ir. Abdullah Taufiq M.P., Dr. A.A. Rahmianna, Ir. Henny Kuntastuti, M.S., dan Eriyanto Yusnawan, Ph.D. serta teknisi laboratorium Kimia Tanah dan laboratorium Uji Mutu Benih Balitkabi atas bantuannya selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alipour, Z.T. and A. Sobhanipour. 2012. The effect of *Thiobacillus* and *Pseudomonas fluorescent* inoculation on maize growth and Fe uptake. *Annals of Biol. Res.* 3(3): 1661–1666.
- Balitkabi. 2012. Deskripsi Varietas Unggul Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang. pp. 77–110.
- Boote, K.J. 1982. Growth stages of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Peanut Sci.* 9: 35–40.
- BPS. 2014. Luas Panen, Produktivitas dan Produksi Kacang Tanah di Indonesia. <http://www.bps.go.id>.
- Brady, N.C. 1984. The Natures and Properties of Soils. 9th ed. Macmillan Pub. Co., New York. pp. 189–383.
- Briat, J., C. Dubos, and F. Gaymard. 2014. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.005>.
- Dey, R., K.K. Pal, D.M. Bhatt and S.M. Chauhan. 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiol. Res.* 159: 371–394.

Tabel 3. Rata-rata hasil polong kering bernas dan indeks panen kacang tanah pada perlakuan *P. fluorescens* dan belerang. Rumah kaca Balitkabi 2015.

Perlakuan	Hasil polong kering bernas per tan (g)	Indeks panen
Konsentrasi <i>P. fluorescens</i>		
0 cfu/mL	4,52	0,51
107 cfu/mL	4,43	0,52
109 cfu/mL	4,21	0,54
BNT 5%	tn	tn
Dosis Belerang		
0 g/kg tanah	3,08 c	0,40 c
1 g/kg tanah	4,37 b	0,52 b
2 g/kg tanah	4,54 b	0,55 ab
3 g/kg tanah	5,56 a	0,59 a
BNT 5%	0,94	0,07
KK (%)	21,86	13,18

cfu=colony forming unit, BNT=Beda Nyata Terkecil, tn=tidak nyata, KK=koefisien keragaman, angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom dan perlakuan yang sama berbeda nyata pada uji BNT dengan batas peluang 5%.

Tabel 4. Korelasi antara skor klorosis, indeks klorofil daun, kadar klorofil daun, pH tanah, kadar SO_4^{2-} , Fe tersedia di tanah dan hasil kacang tanah.

	Kadar klorofil total daun	Hasil polong bernas	Indeks panen
Skor klorosis daun 60 HST	-0,64**	-0,59**	-0,86**
Indeks klorofil daun 60 HST	0,36*	0,63**	0,70*
SO_4^{2-} di tanah	0,41*	0,68**	0,39*
pH tanah	-0,33*	-0,55**	-0,38*
Fe tersedia di tanah	0,25	0,06	0,12
Kadar klorofil total daun	-	0,36*	0,35*

Keterangan: * = nyata pada selang kepercayaan 5%, ** = nyata pada selang kepercayaan 1%.

- Egamberdieva, D. 2010. Growth response of wheat cultivars to bacterial inoculation in calcareous soil. *Plant Soil Environ.* 56(12): 570–573.
- Eslamyan, L., Z.T. Alipour, S. R.N. Beidokhty and A. Sobhanipour. 2013. *Pseudomonas fluorescens* and Sulfur Application Affect Rapeseed Growth and Nutrient Uptake in Calcareous Soil. *Internat J. Agri Crop Sci.* 5(1): 39–43.
- Fernández-Calviño, D., J. Rousk, P.C. Brookes, and E. Bååth. 2011. Bacterial pH-optima for growth track soil pH, but are higher than expected at low pH. *Soil Biol. Biochem.* 43:1569–1575.
- Gupta, V.V.S.R, J.R. Lawrence, and J.J. Germida. 1988. Impact of elemental sulfur fertilization on agricultural Soils: I. Effects on microbial biomass and enzyme activities. *Can. J. Soil Sci.* 68: 63–473.
- Harsono, A., M. Anwari, R. Krisdiana, S.S. Antarlina, Supriyatin, dan Sunardi. 1998. Laporan Tahunan Balitkabi Tahun 1997/1998. Balitkabi, Malang. pp. 40–64.
- Hawkins, Tracy S., E.S. Gardiner, G.S. Comer. 2009. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. *J. for Nature Conserv.* 17:125–129.
- Hoberg, E., P. Marschner, R. Lieberei. 2005. Organic acid exudation and pH changes by *Gordonia* sp. and *Pseudomonas fluorescens* grown with P adsorbed to goethite. *Microbiol. Res.* 160: 177–187.
- Khalid A., M. Arshad, B. Shaharoona, and T. Mahmood. 2009. Plant growth promoting rhizobacteria and sustainable agriculture. pp. 134–160. In M.S. Khan, A. Zaidi, J. Mussarat. *Microbial Strategies for Crop Improvement*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Meera, T. and P. Balabaskar. 2012. Isolation and characterization of *Pseudomonas fluorescens* from rice fields. *Int. J. Food Agric. Vet. Sci.* 2 (1): 113–120.
- Meliani, A., A. Bensoltane, and K. Mederbel. 2011. Contribution to the ecobiological study of the *Pseudomonas fluorescens* rhizobacteria. *Res. J. Mic.* 6 (9): 706–714.
- Mengel, K. and G. Geurtzen. 1986. Iron chlorosis on calcareous soils. Alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. *J. Plant Nut.* 9(3–7): 161–173.
- Mullen, M.D. 1998. Transformation of other elements. pp. 369–386. In D.M. Sylvia, J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel and D.A. Zuberer (eds). *Principles and Application of Soil Microbiology*. Prentice Hall, New Jersey.
- Nikolic, M. and V. Romheld. 2003. Nitrate does not result in iron inactivation in the apoplast of sunflower leaves. *Plant Physiol.* 132 (3): 1303–1314.
- Orman, S. and M. Kaplan. 2011. Effects of elemental sulphur and farmyard manure on pH and salinity of calcareous sandy loam soil and some nutrient elements in tomato plant. *J. Agric. Sci. Tech.* 5(1): 20–26.
- Purnomo, J., A. Taufik dan N. Nugrahaeni. 2000. Toleransi genotip kacang tanah terhadap kahat besi (Fe) di tanah Alfisol basis. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 19 (1): 26–31.
- Rao, K. T., A. U. Rao and D. Sekhar. 2013. Effect of Sources and Levels of Sulphur on Groundnut. *JAIR* 2: 268–270.
- Reich M., T. Aghajanzadeh, C.E.E. Stuiver, A. Koralewska, L.J. De Kok. 2015. Impact of Sulfate Salinity on the Uptake and Metabolism of Sulfur in Chinese Cabbage. pp 227–238. In L.J. De Kok, M.J. Hawkesford, H. Rennenberg, K. Saito, E. Schnug (eds). *Molecular Physiology and Ecophysiology of Sulfur* Editors. Pro. of the Internat. Plant Sulfur Workshop. Springer Int. Pub. Switzerland.
- Rezaei, S., K. Khavazi, M.T. Nezami and S. Saadat. 2015. Effects of elemental sulfur and soil compaction on microbial biomass carbon and soil enzyme activities. *IJB* 6(3): 7–14.
- Rodríguez, H., and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotech. Adv.* 17: 319–339.
- Romheld, V. and H. Marschner. 2014. Mechanism of Iron Uptake by Peanut Plants. *Plant Physiol.* 71: 949–954.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. *Plant Physiology*. Fourth edition. Wadsworth Pub. Co. D.R. Lukman dan Sumaryono (penterjemah). 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid 1. ITB, Bandung. pp. 128–149.
- Sánchez-Rodríguez, A. R., M. C. del Campillo, J. Torrent and D.L. Jones. 2014. Organic acids alleviate iron chlorosis in chickpea grown on two P-fertilized soils. *J. of Soil Sci. and Plant Nutr.* 14(2): 292–303.
- Sharma, A. and B.N. Johri. 2003. Growth promoting influence of siderophore-producing *Pseudomonas* strains GRP3A and PRS9 in maize (*Zea mays* L.) under iron limiting conditions. *Microbiol. Res.* 158: 243–248.
- Tate, R.L. 2000. *Soil Microbiology*. Second edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 189–214.
- Taufiq, A. dan Sudaryono. 1998. Pemupukan belerang (S) dan bahan organik pada kacang tanah di tanah Mediteran (Alfisol) bereaksi basa. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 17(1): 76–82.
- Taufiq, A. 2001. Evaluasi kekhilangan Alfisol dan peningkatan produktivitasnya untuk kacang tanah. *Ilmu Pertanian* 8(1): 16–25.

- Taufiq, A., B. Radjagukguk, A. Syukur . 2001. Gejala klorosis pada kacang tanah (*Arachis hypogaea*) pada Alfisol kapuran dan upaya mengatasinya. *Agrosains* 14(3): 297–312.
- Taufiq, A., J. Purnomo dan Paidi. 2004. Toleransi kacang tanah terhadap klorosis pada beberapa pH Tanah. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 23(1): 28–37.
- Van den Berg, A.K. Van den and T.D. Perkins. 2004. Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves. *Forest Eco. and Manag.* 200: 113–117.
-